نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ٤، زمستان ١٣٩٦
صفحات۱۰۹- ۹۳

بررسی پایداری دامنه های منطقه جوانرود با استفاده از مدل فرآیند محور (Sinmap)

پروین زارعی[1]، دکتری ژئومرفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
علی طالبی، دانشیار آبخیزداری،گروه منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
محمود علایی طالقانی، استادیار ژئومرفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۰ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۸/۱۳

چکیده

بررسی عوامل مؤثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای و شناخت مناطق حساس به زمین لغزش برای برنامه‌ریزی ، انجام پروژه های عمرانی و ارائه‌ی راه‌کارهای مدیریتی صحیح در مناطق حساس ضروری می‌نماید. در این مقاله تحلیل پارامترهای ژئو مکانیکی و هیدرولوژیکی به منظور تحلیل پایداری دامنه ها و پهنه بندی حساسیت به لغزش دامنه های منطقه مطالعاتی به کمک مدل فرایند محور (فیزیک پایه) sinmap انجام شده است. برای دستیابی به هدف مورد نظر ۱۲ دامنه شامل ۷ دامنه لغزشی و ۵ دامنه فاقد لغزش به عنوان نمونه مطالعاتی در منطقه جوانرود انتخاب شدند و سپس تمامی متغییر های تحلیل پایداری دامنه ها از طریق مطالعات میدانی و آزمایشگاهی مورد اندازه گیری قرار گرفتند . بررسی ویژگی های توپوگرافی دامنه های مطالعاتی از طریق مطالعات میدانی به دست آمده است . برای اندازه گیری ویژگی های مکانیکی و هیدرولوژی خاک از هر دامنه مقدار ۵۰ کیلوگرم خاک برداشت شده و در آزمایشگاه مکانیک خاک پارامتر های مورد نیاز شامل وزن مخصوص خاک خشک (γd)وزن مخصوص خاک مرطوب(γt)، هدایت هیدرولیکی(K)، زاویه اصطکاک داخلی خاک(ϕ)، چسبندگی خاک(C) و همچنین تخلخل خاک مورد آزمایش قرار گرفته اند . نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که در منطقه جوانرود بیشترین درصد از منطقه مطالعاتی در منطقه حفاظتی و آستانه بالای ناپایداری قرار دارد و درصد کمتری از منطقه در حد پایداری قرار دارد. این امر حاکی از مستعد بودن دامنه های منطقه مطالعاتی از لحاظ ناپایداری ذاتی می باشد. به طوری که ویژگی های دامنه های منطقه مطالعاتی (شیب بالا، ضریب چسبندگی کم ، زاویه‌ی اصطکاک پایین و ضریب اشباع بالا) در این مناطق قطعا باعث بروز پدیده ی زمین لغزش خواهند شد.

واژگان کلیدی: لغزش، پایداری دامنه ، مدل فرآیند محور، Sinmap ،جوانرود

مقدمه

۱ - نویسنده مسئول: Email: parvinzarei۸@gmail.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

فرآیند لغزش به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی پیش روی انسان که همواره در سراسر جهان باعث تلفات جانی و وارد آمدن خسارات سنگین مالی واقتصادی به مناطق مسکونی می شود، دارای اهمیت خاصی می باشد. با افزایش جمعیت و اسکان درمناطقی که مستعد رویداد زمین لغزش هستند آمارهای جهانی تلفات و خسارات مالی ناشی از این پدیده پیوسته در حال افزایش می باشد. بنابراین بررسی عوامل مؤثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای برای برنامه‌ریزی و و ارائه‌ی راه‌کارهای مدیریتی صحیح در مناطق حساس ضروری می‌نماید. به همین منظور و به خاطر اهمیت این پدیده در پروژه های عمرانی ، مطالعات زیادی توسط مهندسان ژئوتکنیک، زمین‌شناسان و هیدرولوژیست‌ها صورت گرفته است و مدل‌های مختلفی نیز برای پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش ارائه شده است. در ایران بیشتر مطالعات در زمینه‌ی حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، بر اساس روش‌های آماری و توصیفی صورت گرفته است در صورتی‌که امروزه در دنیا برای استفاده از روابط ریاضی در تحلیل حرکت‌های توده‌ای و کمّی کردن این پدیده، بیشتر مطالعات بر مبنای مدل‌های فرایندمحور(فیزیک پایه) و روش‌های ریاضی و عددی و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، استوار است. ضروری است در ایران نیز بر اساس پارامترهای کمّی و معادلات فیزیکی، زمین‌لغزش‌های موجود مطالعه و تحلیل شوند چرا که در بحث کنترل این پدیده خصوصاً در زمینه‌ی پایداری دامنه‌ها به دلیل پیچیده بودن طبیعت دامنه‌ها و عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، به روابط فیزیکی و ریاضی نیازمند هستیم. بنابراین امروزه مدل های فرآیند محور(فیزیکی پایه) جهت شناسایی مهمترین علل وقوع زمین لغزش در مقیاس وسیع به خدمت گرفته می‌شوند تا از این طریق بتوانند مشکل یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی به نام زمین‌لغزش را حل نمایند. این مدل ها فرآیندهایی از قبیل الگوهای بارش و تغییرات سطح آب زیر زمینی را به صورت ریاضی مدل کرده و با مدلهای نفوذ و آنالیزهای پایداری دامنه ادغام می کنند. اکثر این مدل ها از ترکیب آنالیزهای پایداری دامنه (روش شیب بی نهایت) با مدل سازی هیدرولوژیکی به وجود آمده اند و قابلیت ارزیابی زمین لغزشهای حاصل از شرایط هیدرولوژیکی را دارند. درمنطقه جوانرود واقع در شمال غرب زاگرس چین خورده ،جابه جایی توده ای مواد از قبیل لغزش از جمله فرایندهای دامنه ای مشکل آفرین است. این پدیده تخریب اراضی جنگلی، زمین های کشاورزی و مراتع این منطقه را به همراه داشته و برای تردد جاده ای نیز یک تهدید به شمار می رود. در این تحقیق به علت پیچیدگی های مرتبط با مکانیسم وقوع لغزش جهت تحلیل پایداری دامنه های کل منطقه و تهیه نقشه پهنه بندی لغزش های منطقه مطالعاتی از مدل فرایند محور(فیزیک پایه) استفاده گردید. مدل فرآیند محور مورد استفاده مدل [۲](Sinmap) می باشد. این مدل براساس مدل عددی پایداری شیب نامحدود پایه گذاری شده است . مطالعات زیادی در ارتباط با بررسی پدیده لغزش به خصوص در سطح حوضه با استفاده از مدل های فیزیک پایه صورت گرفته است. مونتگومری و همکاران برای تاثیر توپوگرافی بر روی ایجاد لغزش‌های سطحی توسط ارتباط داده‌های رقومی با مدل‌های جریان‌های زیرسطحی و پایداری شیب مدلی ارائه دادند و نشان دادند که توپوگرافی سطحی از طریق پارامترهایی نظیر جریان زیر سطحی موجب افزایش اشباع خاک و کاهش تنش برشی شده و در وقوع زمین‌لغزش‌های سطحی مؤثرهستند(Mongomery & Ditriech,۱۹۹۴). وو و همکاران مدل فیزیکی و توزیعی پایداری شیب (DSLAM) براساس مدل شیب بی-نهایت، مدل موج جنبشی آب زیرزمینی و مدل تغییر مداوم نیروی ریشه گیاهان عرضه کرده‌اند. این مدل جهت آنالیز سریع لغزش‌های کم‌عمق و پراکنش مکانی فاکتورپایداری (FS) در نواحی جنگلی پرشیب طراحی شده بود(Wu& (Slide, ۱۹۹۵ .

[۱] Stability Index Mapping

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

همچنین با فرض کردن ماندگار یا شبه ماندگار بودن سطح آب زیر زمینی و موازی بودن جریان های آب زیر زمینی با شیب دامنه، مدل های متنوعی بر اساس ترکیب آنالیزهای پایداری دامنه(روش شیب نامحدود) با مدلسازی هیدرولوژیکی به منظور ارزیابی زمین‌لغزش های حاصل از شرایط هیدرولوژیکی و کاربری اراضی، توسعه داده اند از جمله مطالعات صورت گرفته در این راستا می توان به کارهای محققانی همانند گلید ، بورگا ، تروخ، کلاسنس، بیوم، ویتا اشاره نمود (Glade,۲۰۰۰; Borga, ۲۰۰۲;Troch, ۲۰۰۳; Claessens, ۲۰۰۷; Baum,۲۰۱۱; Vita,۲۰۱۳)با استفاده از یک روش مشابه پک و همکاران برای تهیه نقشه پایداری زمین یک مدل هیدرولوژیکی و کارتو گرافی(sinmap) را توسعه دادند و به این نتیجه رسیدند که این مدل روشی برای مدل سازی توزیع مکانی لغزش های سطحی فراهم می آورد(pack etal,۱۹۹۸). ویور و همکاران به بررسی خطر وقوع لغزش در منطقه مرتفع فلات لسی در شرق لهستان با استفاده از مدل sinmap پرداختند . نتایج حاصل از آنالیز پایداری نشان داد که برای ارزیابی نسبی خطر و همچنین برنامه ریزی و مدیریت جنگل ها و دیگر خطرات زمین می توان از این مدل استفاده نمو د(Wawer etal, ۲۰۰۳). ناکا و عبدالغفور با استفاده از مدل فرایند محور sinmap به تحلیل و بررسی زمین لغزش در شمال اردن پرداختند . نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین درصد از منطقه مطالعاتی را (۷۹ درصد) مناطق ناپایدار شامل می شوند (Naqa& Abdelghafoor, ۲۰۰٦). کلایمس به بررسی فاکتورهای موثر در وقوع لغزش همانند عوامل زمین شناسی، زاویه و جهت شیب ،کاربری اراضی، رخداد لغزش های پیشین و تهیه نقشه توزیع فضایی لغزش در مقیاس ناحیه ای در در مناطق کوهستانی چک اسلواکی با استفاده از مدل sinmap و Gis پرداخت. آنالیزها نشان داد که وجود لغزش های گذشته مهمترین عامل برای وقوع لغزش در ناحیه مطالعاتی می باشد(Klimes ,۲۰۰۸). ایلماز و کسکین به تهیه نقشه پهنه بندی لغزش در محدوده ی Sebinkarahisar در ترکیه با استفاده از مدل (sinmap) پرداختند. با توجه به نتایج حاصل از آنالیزهای آزمایشگاهی و اسنادی فرسایش پنجه ای و فشار آب زیرزمینی به عنوان دو عامل مهم و موثر در وقوع لغزش های ناحیه مطالعاتی شناسایی شدند. (Yilmaz& Keskin, ۲۰۰۹). ترهورست و کرجا به بررسی یک ناحیه لغزشی فعال در مناطق کوهستانی آلمان با استفاده از مدل sinmap پرداختند. مقایسه نتایج بدست آمده از نقشه پهنه بندی با مقایسات میدانی در انطباق مناسبی بودند.بر اساس داده های قابل اطمینان و اطلاعات تفصیلی نشان داد که (sinmap) یک ابزار قدرتمند برای ارزیابی لغزش های انتقالی می باشد(Terhorst & Kreja,۲۰۰۹) . پائولین و همکاران اثر اندازه پیکسل در نمایش لغزش ها و اثرات جانبی آن بر پیش بینی توسط مدل sinmap پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل با پیکسل های به ابعاد ۳۰ متر نیز نتایج خوبی ارائه می دهد و با افزایش اندازه پیکسل، دقت توزیع مکانی لغزش ها کاهش می‌یابد (Paolin etal, ۲۰۱۰). میشل و همکاران به منظور بررسی حرکات متنوع لغزش و تهیه نقشه آسیب پذیری در حوضه ی آبریزی در برزیل جنوبی از دو مدل Shalstab و Sinmap استفاده کردند .بر اساس نتایج حاصل از آنالیز مدل Sinmap ،۳۰ درصد از منطقه مطالعاتی به عنوان منطقه ناپایدار شناخته شد (Michel etal ,۲۰۱٤) . چا و همکاران به ارزیابی خطر لغزش با استفاده از ویژگی های ژئومورفیک با استفاده از روش های Sinmap و آنالیز وکتوری در کره پرداختند. نتایج حاصل از آنالیز نشان داد که ویژگی های ژئومورفیک بین قلمروهای پایدار و ناپایدار متفاوت می باشد و مدل به خوبی خطر لغزش را برای لغزش های نوع جریانی ارزیابی می کند (Cha etal, ۲۰۱۴). یانگ و همکاران به بررسی و آنالیز پایداری دامنه با استفاده از مدل(sinmap) تحت تاثیر مولفه های مختلف بارش در منطقه لوشان پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش شدت بارش در یک رابطه معنادار با افزایش

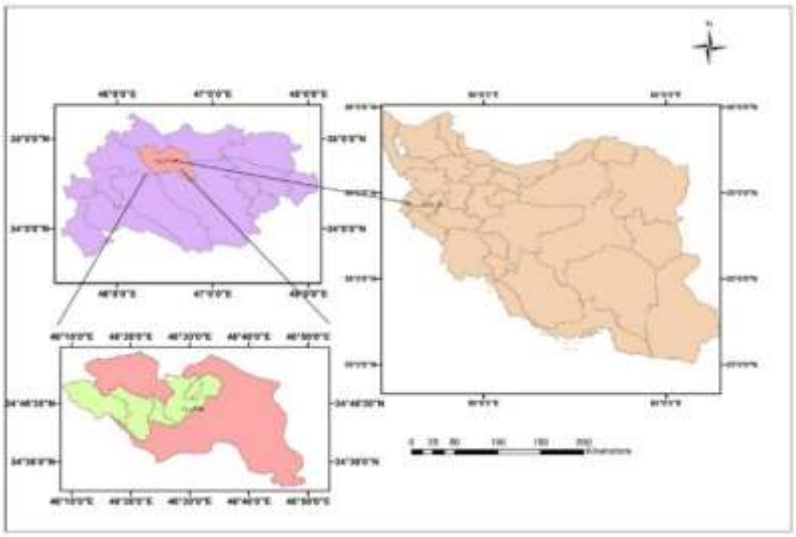
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

ناپایداری منطقه همراه است . شدت زلزله و شدت بارش از فاکتورهای مهم برای پایداری دامنه هـای پـس از لـرزه مـی باشـند (Yang etal ,۲۰۱۵) . فاریا و همکاران به بررسی و ارزیابی آسیب پذیری زمین لغزش ها روی تراس های کشاورزی دره دورو در پرتغال با استفاده از مدل های فیزیک پایه Shalstab و Sinmap پرداختند. نتایج مدل Sinmap نشان دهنده تاثیر زیاد عامـل مورفولوژی تراس ها بر روی جریان های هیدرولوژی در مدل بود (Faria etal,۲۰۱۶). در ایران بیشـتر مطالعـات صـورت گرفتـه برای پیش بینی لغزش بر اساس مدلهای تجربی و توصیفی می باشد و در زمینه استفاده از مدل هـای پایـه فیزیکـی در بررسـی لغزش، پژوهشهای کمی صورت گرفته است. احمدی و طالبی آنالیز پایداری شیب دامنـه را بـا اسـتفاده از روش(bishop) انجـام دادند و به این نتیجه رسیدند که دوعامل تکتونیک (زمین ساخت) و احداث جاده در پایین دست به عنوان عوامل تشدید کننـده زمین لغزش می باشند (احمدی و طالبی،۱۳۸۰). ایزددوست و طالبی به مقایسه مدل های پایه فیزیکی زمین لغـزش در منطقـه ایلام پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل sinmap در صورتی که برای کل سطح حوضه کارایی مناسب تری نسبت به سایر مدل های فیزیکی خواهد داشت (ایزددوست و طالبی،۱۳۸۹). بحری و همکاران در مقاله خود تحت عنوان پیش بینی دامنه های ناپایدار با استفاده از مدل فرآیند محور(sinmap) به پهنه بندی حوضه آبخیز سد لتیان پرداختند و با استفاده از ایـن مـدل نقشـه خطر آن را بدست آوردند (بحری و همکاران،۱۳۹۱). تاجبخش و همکاران به بررسی عوامل موثر در ایجاد پهنه لغزشی هاونـان بیرجند و تحلیل پایداری دامنه ها با استفاده از مدل sinmap پرداختند. بر اسا س نتایج تحقیق ترکیب سنگ و وجود دو سری شکستگی را به عنوان مهمترین عوامل ناپایداری معرفی نمودند (تاجبخش و همکاران،۱۳۹۳) . در تحقیق حاضر نیز بـه منظـور شناسایی دامنه های ناپایدار و بررسی عوامل موثر در ناپایداری دامنه هـا و همچنـین تهیـه نقشـه آسـیب پـذیری در منطقـه جوانرود سعی شد که از مدل فرآیند محور(فیزیک پایه) sinmap استفاده شود.

داده ها و روش کار

با توجه به پراکنش نقاط لغزشی در حوضه های آبخیز منطقه جوانرود شامل: زلان، لیله ، بازان و صفی آبـاد، محـدوده بـین۳۴ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۶ درجه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقـه تـا ۴۶ درجـه و ۳۶ دقیقـه طـول شـرقی از بخش شمال غرب زاگرس چین خورده مورد بررسی قرار گرفته است(شکل۱).

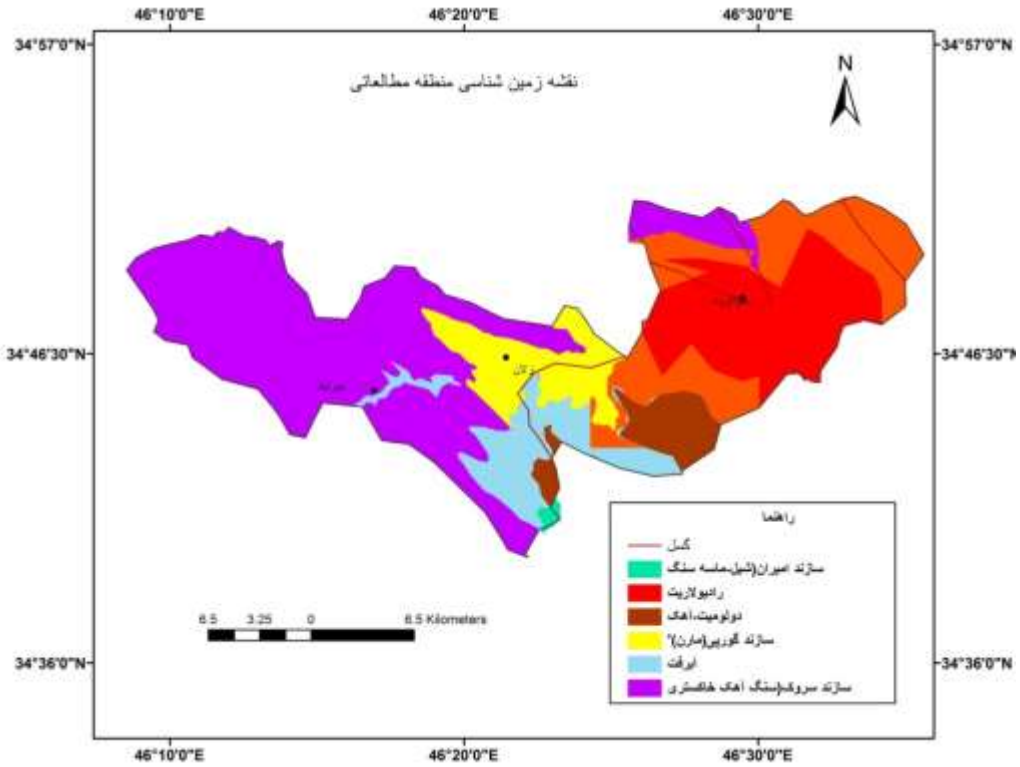
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه منطقه ای کاملا کوهستانی با نوسان ارتفاعی بین ۱۰۰۰ تا ۲۷۰۸ متر می باشد. کوه های بهم فشرده با دره های عمیق از ویژگی های آن می باشد. میانگین سالانه در جه حرارت در منطقه ۱۵/۶ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه حدود۶۰۰ میلیمتراست. ساختار منطقه جوانرود چین خورده است ولی به دلیل ساختمان سنگ شناسی متفاوت، شکل چین ها و ارتفاع آنها بسیار متفاوت است. از این نظر کوه های منطقه را می توان به دو واحد کوه های برجسته و اراضی تپه ماهوری تقسیم کرد. کوه های برجسته از تناوب آهک تیره با مارن خاکستری (سازند سروک) یا از تناوب آهک های رسی سیاه تا خاکستری و شیل های سیاه (سازند گرو) ساخته شده اندااما اراضی تپه ماهوری بخش میانی و شرقی حوضه را در بر میگیرد .جنس این اراضی در بخش میانی منطقه از سازند گورپی مشتمل بر مارن خاکستری و شیل است و در مشرق حوضه از رادیولاریت های کرمانشاه می باشد. لیتولوژی رادیولاریت ها شامل چرت های قرمز،زرد تا سبز زیتونی، شیل های قرمز و سبز رنگ ، آهک های سیلسی و توده های آذرین بازی و فوق بازی مثل سرپانتین است. (شکل ۲). سطح این تپه ها یا پوشیده از جنگل تنک بلوط است و یا زیر کشت دیم قرار دارد. انطباق پراکنش لغزش های منطقه با نقشه ی زمین شناسی حاکی از آن است که دو سازند گورپی و رادیولاریت کرمانشاه زمینه ساز پدیده زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه محسوب می شوند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل۲: نقشه زمین شناسی منطقه جوانرود

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل نقشه های توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰ منطقه جوانرود، نقشه های زمین شناسی۱:۱۰۰۰۰۰، عکس های هوایی ۱:۵۵۰۰۰، تصاویر ماهواره ای گوگل ارث ،GPS،مدل رقومی ارتفاعی ۲۰ متر و نرم افزارهای Arc gis و Matlab می باشد. این تحقیق به دو روش میدانی و آزمایشگاهی صورت گرفته است. مراحل انجام تحقیق را نیز به طور خلاصه می توان به شرح زیر بیان نمود:

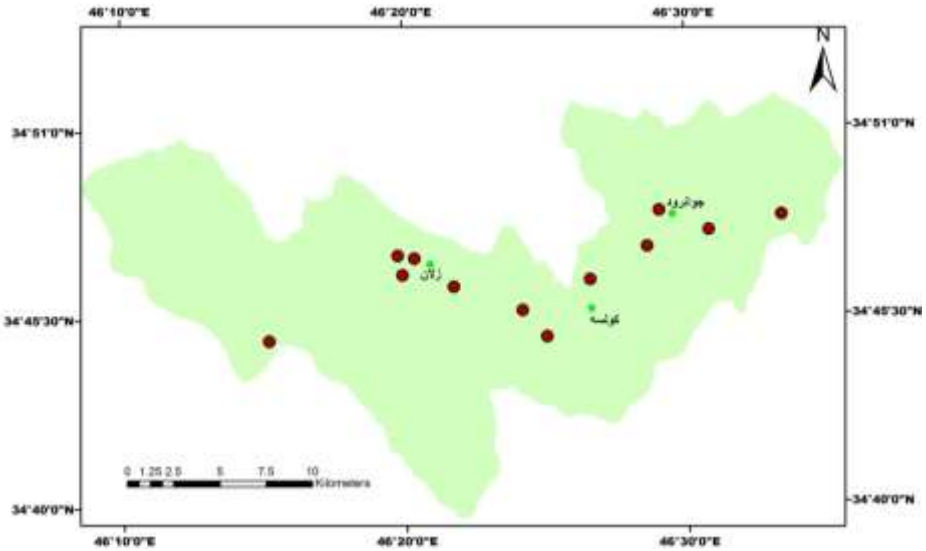
گام اول- تهیه بانک اطلاعاتی

اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق ویژگی های ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و مکانیک خاک دامنه ها در محدوده مورد مطالعه را شامل می شود. بنابراین برای دستیابی به این اطلاعات لازم بود تا ابتدا دامنه های نمونه برای اندازه گیری متغییرهای فوق مورد شناسایی قرار گیرند. برای این منظور نیز ابتدا نقشه پراکنش لغزش ها در محدوده مورد مطالعه تهیه گردید و سپس براساس آن، دامنه های نمونه برای اندازه گیری متغییر های مورد نیاز انتخاب گردیده اند. نقشه پراکنش لغزش با استفاده از تصاویر ماهواره ای و بازدید های میدانی تهیه گردید. به این صورت که پس از شناسایی توده های لغزشی موقعیت آنها به کمک GPS تعیین و سپس به نقشه پایه منطقه منتقل گردید(شکل ۳).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شکل۳: نمونه‌هایی از دامنه‌های لغزشی در منطقه‌ی جوانرود

دامنه های نمونه نیز با توجه به داده های نقشه لغزش به تعداد ۱۲ دامنه شامل پنج دامنه پایدار(فاقد لغزش) و ۷ دامنه ناپایدار(دارای توده لغزش) شناسایی شده و برای ارجاع از شماره یک تا ۱۲ شماره گذاری شده اند. دامنه های شماره ۱ تا ۵ به عنوان دامنه های پایدار و دامنه های شماره ۶ تا ۱۲ به عنوان دامنه های لغزشی می باشند. (شکل ۴)



شکل۴: نقشه پراکنش نقاط لغزشی منطقه مورد مطالعه

گام دوم - تعیین و اندازه گیری های پارامترهای مورد نیاز جهت اجرای مدل

پس از انتخاب دامنه های نمونه، پارامترهای مورد نیاز به شرح زیر مورد سنجش قرار گرفته اند:

-تعیین پارامترهای ژئو مکانیکی خاک: برای اندازه گیری ویژگی های مکانیکی خاک اقدام به نمونه گیری خاک از هر دامنه گردید. برای این منظور از هر دامنه حداقل مقدار ۵۰ کیلوگرم خاک برداشت شده است. نمونه خاک ها نیز از عمق ۷۵ سانتی متری تا ۱ متری برداشت شده اند. جهت نمونه برداری از خاک های ریزدانه ازوسیله به نام(corecuter)وجهت نمونه برداری خاک های درشت دانه نیز از بیل استفاده شده است. خاک نمونه برداری شده به آزمایشگاه مکانیک خاک شهر کرمانشاه متعلق

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

به اداره راه استان انتقال داده شده و پارامتر های مورد نیاز شامل وزن مخصوص خاک خشک (γd)وزن مخصوص خاک مرطوب(γt)، هدایت هیدرولیکی(K)، زاویه اصطکاک داخلی خاک(ϕ)، چسبندگی خاک(C) و همچنین تخلخل خاک می باشد. پارامترهای مقاومت برشی خاک یعنی ضریب چسبندگی خاک برحسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک بر حسب درجه در آزمایشگاه مکانیک خاک بر اساس آزمایش برش مستقیم به دست آمد (شکل ۴). ضریب چسبندگی خاک در واقع مقاومت خاکی به علت چسبندگی دانه‌ها است که حاصل از مقاومت مولکولی یعنی نیروی جاذبه‌ی الکتروشیمیایی بین ذرات ریز است. زاویه‌ی اصطکاک داخلی، مقاومت بین‌دانه‌ای خاک در مقابل سر خوردن دانه‌ها، مقاومت در مقابل غلتیدن بر روی یکدیگر و شکسته شدن دانه‌ها و غیره است که همگی مربوط به خاک‌های غیرچسبنده و درشت‌دانه‌ها شامل انواع ماسه و انواع شن‌ها و مانند آنها است . هدایت هیدرولیکی(k) در واقع یکی از خصوصیات هیدرودینامیک خاک‌ها است که نقش تعیین کننده‌ای در حرکت و انتقال آب و املاح در خاک در تخمین میزان جریان‌های زیرزمینی تحت شرایط هیدرولیکی مختلف، پایداری سازه‌های خاکی و مکانیک خاک دارد. در این تحقیق ضریب هدایت هیدرولیکی یا همان ضریب نفوذپذیری به روش (بار افتان) محاسبه شده است. میزان رطوبت در خاک بر تمامی ویژگی‌های فیزیکی ومکانیکی خاک از جمله نفوذپذیری، تخلخل، تورم، تراکم‌پذیری مؤثر است. هدف از این آزمایش، تعیین ضریب یا درصد وزنی رطوبت در خاک نسبت به دانه‌های خشک(به روش گرم کردن و توزین) می‌باشد. در این آزمایش به تعیین وزن مخصوص خشک و مرطوب خاک و در نهایت وزن مخصوص اشباع خاک (ps) که از پارامترهای محاسباتی برای اجرای مدل می‌باشند ، پرداخته شد. تخلخل عبارت است از درصد منافذی که در خاک وجود دارد. تخلخل خاک اهمیت زیادی از لحاظ تهویه، نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری خاک دارد. در آزمایشگاه برای اندازه‌گیری درصد تخلخل از روش محاسبه‌ی وزن مخصوص حقیقی و ظاهری ظاهری استفاده گردید. هدف از این آزمایش، تعیین نسبت وزن مخصوص بخش جامد خاک به وزن مخصوص آب می باشد.

- تعیین پارامترهای ژئومورفولوژی دامنه ها: جهت تعیین پارامترهای مورفولوژی و توپوگرافی علاوه بر استفاده از نقشه توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی(Dem) با قدرت تفکیک ۲۰ متر و تصاویر ماهواره ای، جهت افزایش دقت سعی شد که از اندازه گیری های میدانی نیز استفاده شود. به این ترتیب با بهره گیری از نرم افزار Gis ، متر دستی و لیزری و همچنین شیب سنج ، ویژگی های ژئومتری دامنه از قبیل شیب متوسط (beta)، مساحت بالادست دامنه (A) عرض دامنه (W)، طول دامنه (L)،پروفیل طولی دامنه تعیین گردید.

- تعیین ضریب چسبندگی ریشه درختان: برای تعیین مقدار چسبندگی ریشه درختان و وارد سازی تاثیر آن در مدل مورد استفاده، پس از تعیین کاربری هر دامنه(جنگل، مرتع، زیر کشت و بایر) از طبقه بندی ارائه شده توسط (kayastha, ۲۰۰۶,vinh,۲۰۰۷) استفاده شده است. (جدول ۱).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

جدول۱: مقادیر چسپندگی ریشه برای کاربری‌های اراضی مختلف(کایاستا،۲۰۰۶ و وین، ۲۰۰۷)

نوع کاربری اراضی	چسپندگی ریشه(KN/m^2)
اراضی کشاورزی	۱
اراضی جنگلی	۸
روستاها و مناطق ساختمانی	۰
بوته‌زارها و تپه‌های فاقد پوشش	۱

- تعیین میزان بارش: یکی از عوامل اصلی در وقوع لغزش بارش می باشد. برای این منظور نیز برای هر دامنه بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته در طی یک دوره ی آماری ۲۰ ساله در نظر گرفته شده است. آمار مورد استفاده مربوط به ۴ ایستگاه باران سنجی به نام های (زلان،ده رش،جوانرود و بنچله) می باشد. مقادیر مورد استفاده با توجه به نزدیکی نقاط لغزشی به ایستگاه های مذکور در نظر گرفته شده است.

گام سوم- اجرای مدل

جهت تحلیل پایداری دامنه های کل منطقه در سطح حوضه و تهیه نقشه پهنه بندی لغزش های منطقه مطالعاتی سعی شد از مدل فیزیک پایه ی (sinmap) استفاده شود. این مدل براساس مدل عددی پایداری شیب نامحدود پایه گذاری شده است . این مدل مولفه های ناپایدارکننده مانند نیروی ثقل و پایدارکننده مانند نیروی اصطکاک و چسبندگی خاک دامنه را بر روی یک سطح شکست شبیه سازی می نماید. با استفاده از داده های ورودی یعنی شیب ، مساحت حوضه آبخیز، ویژگی های خاک (استحکام) و خصوصیات اقلیمی (رطوبت هیدرولوژیک) عمل طبقه بندی زمین را بر اساس میزان پایداری انجام می دهد. هریک از این پارامترها بر روی یک شبکه سلولی بیان می گردند تا قابل محاسبه در محاسبات عددی نرم افزار باشند .در واقع خروجی اصلی این مدل ، شاخص پایداری (SI^3) است که با استفاده از این شاخص ، نرم افزار، عمل طبقه بندی پایداری زمین را براساس میزان پایداری در سطح هر سلول از شبکه انجام می دهد. و باتوجه به فاکتور پایداری (Fs) می توان پایداری و یا عدم پایداری دامنه ها را پیش بینی کرد .متغیرهای وابسته به توپوگرافی به صورت خودکار از مدل رقومی ارتفاع استخراج می شوند . سایر متغیرهای ورودی دارای یک نوع عدم قطعیت می باشند ، بنابراین به صورت حدود بالا و پایین یا دامنه ای در نرم افزار تعریف می شوند . با فرض یکنواخت بودن توزیع پارامترها در دامنه عددی تعریف شده از جانب کاربر شاخص پایداری یا (SI) به صورت یک احتمال تعریف می شود که ، نشان دهنده پایداری مکان یا پیکسل مورد مطالعه است.،اساس این مدل، بر مدل پایداری شیب بی نهایت می باشد . بر طبق رابطه(۱) فاکتور (Fs) تعریف می شود که تمام محاسبات بر اساس آن می باشد :

$$Fs = C + coc(\theta) * (1 - W * r) * \tan(\varphi) / \sin(\theta) \qquad \text{رابطه(۱)}$$

C - چسبندگی خاک و ریشه (KN/m^2) می باشد که با توجه به رابطه (۲) محاسبه می شود .حد پایین و بالای چسبندگی با توجه به داد ه های مکانیک خاک به ترتیب ۰و۲۵ (kN/m^2) در نظر گرفته شده است. مقادیر پیش فرض زاویه اصطکاک داخلی (φ) نیز برای مرز پایین دست و بالادست به ترتیب (۳۰، ۴۵) درجه می باشد .همچنین مقدار پیش فرض تراکم خاک، با توجه به

[1]- Stability Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

تخلخل خاک داده های آزمایشگاه مکانیک خاک (۱۰ درصد) در نظر گرفته شده است .این ارزش نمایانگر مرز رطوبتی بین مناطق با رطوبت کم و مناطق متمایل به مرطوب می باشد

رابطه(۲)

$$C = (Cr + Cs)/(h * g * ps)$$

θ –زاویه شیب (%) ،h – ارتفاع آب زیرزمینی ،Ps – وزن مخصوص خاک (kg/m^3)، G شتاب ثقل (۹/۸۱ متر در ثانیه) می باشد

W– رطوبت نسبی است که از رابطه (۳) بدست می آید:

رابطه (۳)

$$W = \min[\frac{Ra}{T\sin(\theta)}, ۱]$$

R– بارندگی (mm/day) A– سطح بالادست دامنه (m^2) T – انتقال دهندگی خاک که از رابطه (۴) محاسبه می شود.

پارامتر R/T ارزش مربوط به نسبت انتقال به برداشت موثر است که برای مرز پایین دست و بالادست با برابر با (۲۰۰۰ و ۳۰۰۰) متر می باشد. در واقع(R) تغذیه موثر برای یک دوره بحرانی از هوای مرطوب است که با احتمال می تواند منجر به شروع فرآیند زمین لغزش گردد.

رابطه(۴)

$$T = K * d$$

k– هدایت هیدرولیکی (m/h) ،d – عمق خاک (m)

در این مدل تهیه نقشه پهنه بندی با استفاده ازپارامترهای ورودی مدل ، لایه های اطلاعاتی نقاط لغزش در منطقه و مدل رقومی ارتفاعی (Dem) با قدرت تفکیک ۲۰ متر و اطلاعات بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی و میدانی برای دامنه های مطالعاتی ، با استفاده از نرم افزار Arcview تهیه می گردد. مقادیر پیش فرض مدل بین مقیاس عددی (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵) می باشد (جدول ۲). در جدول مذکور از واژه های پایدار، نیمه پایدار، شبه پایدار برای طبقه بندی مناطقی استفاده می شود که بر اساس تئوری مدل حتی با وجود داشتن حداکثر عوامل ناپایدار کننده دچار ناپایداری و گسیختگی نمی شوند.کلاس های آستانه بالایی و پایینی هم نشان دهنده مناطقی است که در آنها احتمال ناپایداری به ترتیب بیشتر و کمتر از ۵۰ درصد می باشد.کلاس شیب حفاظتی نیز برای مناطقی به کار می رود که هرگونه تغییر در دامنه پارامترهای ورودی نمی تواند از ناپایداری آنها جلوگیری کند.

جدول۲:کلاس های پیش فرض مدل sinmap

کلاس ناپایداری	ضریب پایداری(SI)
منطقه پایدار	SI> ۱/۵
منطقه با پایداری متوسط	۱/۲۵>SI> ۱/۵
منطقه شبه پایدار	۱< SI<۱/۲۵
منطقه پایین تر از آستانه	۰/۵<SI<۱
منطقه بالاتر از آستانه	۰<SI<۰/۵
منطقه حفاظت شده	SI<۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

شرح و تفسیر نتایج

جابه‌جایی توده‌ای مواد، از قبیل لغزش از جمله فرایندهای دامنه‌ای مشکل‌آفرین در منطقه‌ی جوانرود واقع در شمال غرب زاگرس چین خورده است زیرا این پدیده‌ی تخریب اراضی جنگلی، زمین‌های کشاورزی و مراتع این منطقه را به همراه داشته و برای تردد جاده‌ای نیز یک تهدید به شمار می‌رود. ویژگی‌های ذاتی محیط همانند آسیب‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی این منطقه(گورپی و رادیولاریت)، آب و هوای نیمه‌مرطوب سرد، همراه با شکل دامنه و عوامل انسانی(تسطیح دامنه، برش جاده‌ای) در وقوع لغزش در منطقه‌ی جوانرود تأثیرگذار می‌باشند. نوسان شدید دما همراه با بارش قابل توجه(۶۰۰ میلی‌متر در سال)، هوازدگی شدید لایه‌های شیلی و مارنی سازندهای گورپی، باعث تشکیل قشر ضخیم خاک و رگولیت در سطح دامنه‌های این منطقه شده است. تحت حاکمیت همین شرایط نیز جنگل بلوط به طور طبیعی در سطح آنها روییده است. از سوی دیگر، فشردگی کوه‌ها و عمق دره‌ها باعث شده است تا عمده فعالیت‌های انسانی برای مقاصد مختلف در سطح همین اراضی صورت گیرد. این اقدامات به خصوص توسعه‌ی کشاورزی و دامداری موجب تخریب شدید اراضی جنگلی شده است. اصولاً پوشش درختچه‌ای تنک نظیر جنگل مخروبه در صورت فراهم بودن سایر شرایط بستر مناسبی برای ناپایداری‌ها محسوب می‌شود.بر این اساس به دلیل پیچیده بودن رفتار دامنه‌ها در طبیعت جهت تحلیل پایداری دامنه های منطقه مطالعاتی با استفاده از مدل فیزیک پایه مورد استفاده سعی گردید که با توجه به پارامترهای ژئومکانیکی خاک و ویژگی های توپوگرافی ضریب پایداری (FS) برای هر دامنه محاسبه شود(جداول ۳و۴) .

جدول ۳: پارامتر های مورد نیاز جهت تعیین ضریب پایداری دامنه ها در دامنه های بدون لغزش

پارامترها	دامنه۱	دامنه ۲	دامنه ۳	دامنه ۴	دامنه ۵
جسبندگی C (kg/cm۲)	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۶
زاویه اصطکاک داخلی (φ´)	۳۴	۳۱	۲۹	۲۶	۳۲
ضریب نفوذ پذیری (m/s)	$۴/۹۸\times۱۰^{-۶}$	$۳/۱۸\times۱۰^{-۸}$	$۲/۲۱\times۱۰^{-۹}$	$۶/۲۶\times۱۰^{-۴}$	$۴/۳۸\times۱۰^{-۸}$
وزن مخصوص اشباع خاک (ps) (kg/m۳)	۲۷۴۴	۲۵۴۴	۱۸۹۲	۲۵۰۲	۲۴۶۶
چسبندگی ریشه($KN/M^۲$)	۸	۱	۱	۸	۱
حداکثر بارش ۲۴ ساعته (mm/day)	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶	۸۰
طول دامنه(m)	۱۴۰	۱۱۰	۱۴۲	۱۸۰	۱۱۰
عمق خاک(m)	۱	۱	۱	۱	۱/۲
شیب متوسط(%)	۲۲	۱۷	۳۳	۳۴	۳۱

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

جدول ۴:پارامتر های مورد نیاز جهت تعیین ضریب پایداری دامنه ها در دامنه های لغزشی

پارامترها	دامنه ۶	دامنه ۷	دامنه ۸	دامنه ۹	دامنه ۱۰	دامنه ۱۱	دامنه ۱۲
جسبندگی C´ (kg/cm۲)	۰/۰۳	۰/۰٤	۰/۰۵	۰	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۲
زاویه اصطکاک داخلی) Ø	۲٦	۲۸	۲۵	۲۹	۲۲	۲۳	۲۰
ضریب نفوذ پذیری(K) m/s	$۲/۲\times۱۰^{-۹}$	$٦/۳\times۱۰^{-۸}$	$۷/۱\times۱۰^{-۹}$	$۱/۱۸\times۱۰^{-۷}$	$۲/۲\times۱۰^{-٦}$	$۷/۱۲\times۱۰^{-۸}$	$۱/۲\times۱۰^{-۷}$
وزن مخصوص اشباع خاک (ps) (kg/m۳)	۲٦۰۳	۲٦۳٦	۲٦۷۲	۲۷۵۵	۲۱۷٦	۲۳۷٤	۲۵۱۱
چسبندگی ریشه($KN/M^۲$)	۱	۱	۱	۱	۸	۱	۰
حداکثر بارش سالانه(mm/day)	۵۰	۸۰	۸٦	۱۰۰	۱۰۰	۸٦	۸۰
طول دامنه(m)	۸۰	۱۸۰	۹۰	۳۵۵	۱٤۰	۲٤۰	۲۹۰
عمق خاک(m)	۱/۱	۱/۲	۱	۰/۷	۰/۷	۱/۲	۱/۲
شیب متوسط(%)	٤٦	۳۷	٤٦	۳۲	۲۳	۲۳	۱۵

با توجه به نتایج حاصل از تعیین ضریب پایداری(جدول۵) بر اساس تئوری مدل ، کلاس های پایدار، نیمه پایدار، شبه پایدار (دامنه های ۱ تا ۵) حتی با وجود داشتن حداکثر عوامل ناپایدار کننده دچار ناپایداری و گسیختگی نمی شوند.کلاس های آستانه بالایی و پایینی (دامنه های ۶ تا ۱۲) هم نشان دهنده مناطقی است که در آنها احتمال ناپایداری به ترتیب بیشتر و کمتر از ۵۰ درصد می باشد. نتایج حاکی از آن است که دامنه هایی که دارای ضریب پایداری بیش از ۱می باشند و در کلاس آسیب پذیری کم قرار می گیرند دامنه هایی هستند که از لحاظ ویژگی های ژئو مکانیکی خاک دارای زاویه اصطکاک داخلی بالا می باشند. این عامل رابطه‌ی مستقیمی با ضریب پایداری دارد یعنی افزایش این زاویه، پایداری دامنه‌ها را در پی خواهد داشت .درشت‌دانه بودن بافت خاک این دامنه ها که از نوع رگولیت حاصل از تجزیه سنگ های شیلی و مارنی سازندهای گورپی و رادیولاریت در شرایط آب و هوایی سرد و مرطوب با بارش فراوان می باشد ، باعث چسبندگی خیلی‌پایین و بالا بودن عامل زاویه اصطکاک داخلی شده است. ضریب چسبندگی خاک بستگی به قطر و اندازه‌ی دانه‌ها و جنس مواد معدنی تشکیل دهنده خاک دارد. هر قدر اندازه یا قطر دانه‌ها کوچک‌تر باشد، قدرت جذب آب و در نتیجه چسبندگی ایجاد شده بیشتر است و بر عکس اگر اندازه‌ی دانه‌ها بزرگ شوند، چسبندگی تقلیل می‌یابد. زاویه اصطکاک داخلی این دامنه ها بر اساس نتایج عمدتا بیشتر از ۳۰ درجه می باشد. از نظر پایداری علاوه برویژگی های ژئومکانیکی عوامل توپوگرافی و مورفولوژی دامنه همانند شیب و شکل دامنه (محدب، مقعر، مستقیم) نقش مهمی در کنترل واکنش جریان زیرسطحی و واکنش دینامیکی دامنه ها دارند . از آنجایی

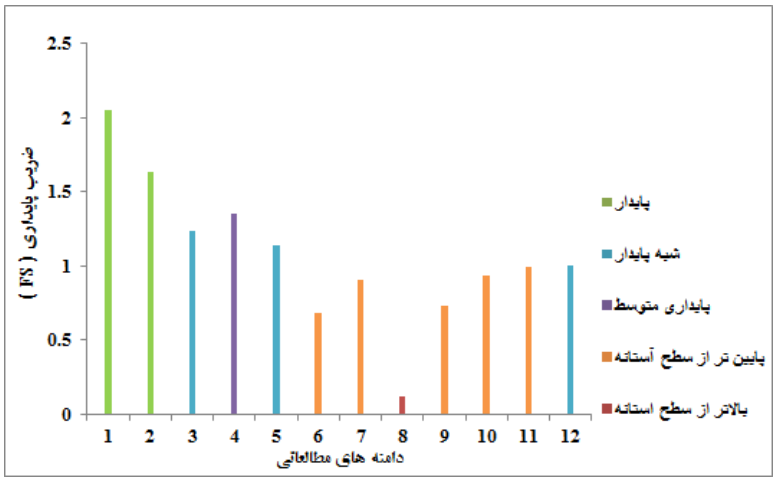
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

که فرآیندهای جریان زیرسطحی اثرات شدیدی بر پایداری دامنه ها دارد، بنابراین وقوع زمین لغزش به طور غیر مستقیم تحت تاثیر عوامل مورفولوژی دامنه خواهد بود. این دامنه ها غالبا دارای شیب کمتر از ۳۰ درصد می باشند. عامل شیب دامنه از محرک های اصلی در ناپایداری و گسیختگی دامنه ها است . شیب زمین با تغییر اثر نیروی ثقل،مقاومت برشی، نیروی برشی، اصطکاک، جریان زیرسطحی آب، نفوذپذیری و زاویه استقرار مواد دامنه ای،حرکت های توده ای را تحت تاثیر قرار می دهد در یک دامنه با ویژگی های مشخص و ثابت، هر چه درصد شیب بیشتر شود تاثیر نیروهای مخرب افزایش می یابد و به تناسب آن مقدار نیروهای مقاوم کننده و پایدار کننده توده کاهش می یابد. بنابراین افزایش شیب می تواند باعث افزایش تنش های برشی و گسیختگی دامنه گردد. با توجه به تمرکز یا پراکندگی آب‌های سطحی و زیرسطحی در مناطق پرشیب، شکل دامنه تأثیر زیادی روی پایداری دامنه دارد، به طوری که رخداد حادثه‌ی لغزش به‌وسیله‌ی دو خصوصیت مهم مرتبط با توپوگرافی یعنی نیروی ثقل و عکس‌العمل هیدرولوژیکی کنترل می‌شود. این دو خصوصیت مؤثر بر جریان زیرسطحی بوده و جریان زیرسطحی نیز به شدت بر پایداری دامنه مؤثر است. شکل این دامنه ها عمدتا دارای پروفیل طولی محدب می باشند .این امر باعث زهکشی سریع این دامنه ها و کاهش ذخیره رطوبت نسبی خاک این دامنه ها شده است به طوری که با توجه به نتایج، متوسط ذخیره اشباع نسبی این دامنه ها نسبت به دامنه های ناپایدار در حد پایین تری می باشد. این امر مقاومت برشی خاک را کاهش داده و دامنه را مستعد لغزش می‌کند. دامنه های ناپایدار منطقه ی مطالعاتی که عمدتا دارای ضریب پایداری کمتر از یک می باشند.در کلاس آسیب پذیربی خیلی زیاد قرار می گیرند.این دامنه ها از لحاظ خصوصیات ژئومکانیکی خاک دارای زاویه اصطکاک داخلی پایین می باشند.که این امر باعث کاهش پایداری دامنه های مطالعاتی خواهد شد. زاویه اصطکاک داخلی این دامنه ها غالبا کمتر از ۲۹ درجه می باشد. این دامنه ها عمدتا دارای زاویه ی شیب بالاتر از ۳۵ درصد می باشندکه باعث افزایش شرایط ناپایدار دامنه خواهد شد. از لحاظ شکل دامنه، عمدتا دارای پروفیل طولی مقعر می باشند. این امرباعث زهکشی آهسته تر این دامنه ها، افزایش ذخیره ی اشباع نسبی خاک دامنه و در نتیجه کاهش پایداری می شود.

جدول ۵:مقدار ضریب پایداری محاسبه شده

دامنه	ضریب پایداری (Fs)	کلاس ناپایداری
دامنه ۱	۲/۰۵	پایدار
دامنه ۲	۱/۶۳	پایدار
دامنه ۳	۱/۲۴	شبه پایدار
دامنه۴	۱/۳۵	پایداری متوسط
دامنه۵	۱/۱۴	شبه پایدار
دامنه۶	۰/۶۸	پایین تر از سطح آستانه
دامنه ۷	۰/۹۱	پایین تر از سطح آستانه
دامنه ۸	۰,۱۱	بالاتر از سطح آستانه
دامنه ۹	۰/۷۳	پایین تر از سطح آستانه
دامنه ۱۰	۰/۹۳	پایین تر از سطح آستانه
دامنه ۱۱	۰/۹۹	پایین تر از سطح آستانه
دامنه ۱۲	۱	شبه پایدار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



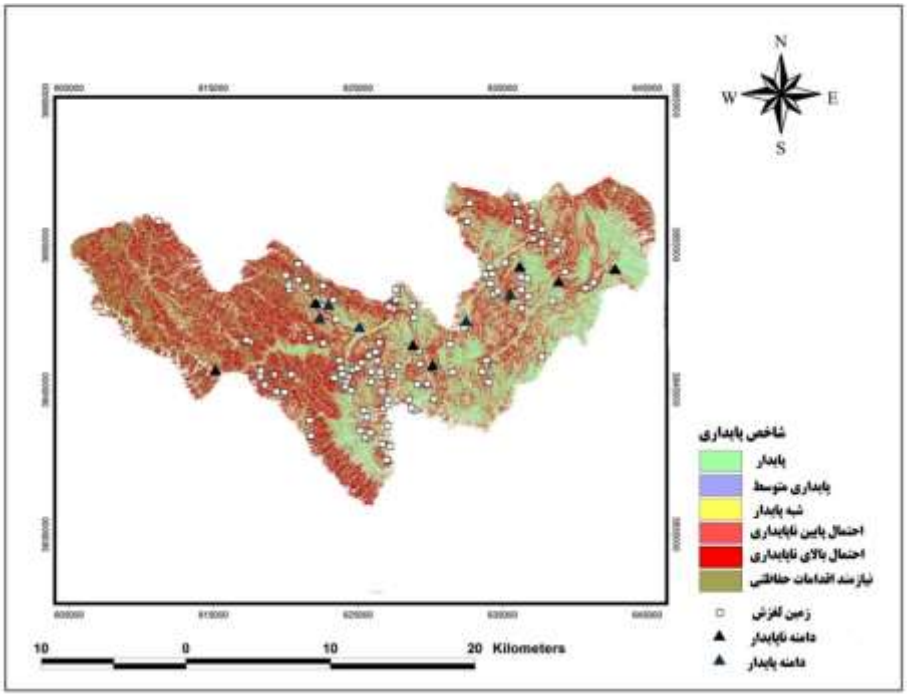
شکل ۵: نمودار ضریب پایداری دامنه های مطالعاتی

نتایج آماری حاصل از پهنه بندی با مدل sinmap (جدول ۶) و نقشه پهنه بندی خطر (شکل ۶) نشان می دهدکه بیشترین درصد منطقه مطالعاتی در کلاس حفاظتی قرار دارد به طوری که حدود ۲۸ درصد از زمین لغزش ها در این کلاس آسیب پذیری که ۲۶ درصد از منطقه مطالعاتی را تشکیل می دهند، واقع شده اند. این امر حاکی از آن است که هرگونه تغییر در دامنه پارامترهای ورودی نمی تواند از ناپایداری آنها جلوگیری کند. حدود ۱۵/۹ درصد از منطقه مورد مطالعه در رده ی آستانه بالای ناپایداری واقع شده است . حدود ۱۸ درصد از زمین لغزش ها در این کلاس قرار دارند و عوامل طبیعی در این مناطق قطعا موجب بروز زمین لغزش می شوند. کمترین درصد منطقه مطالعاتی متعلق به کلاس های شبه پایدار و پایداری متوسط می باشد که به ترتیب ۹/۲ و ۶/۲ درصد از منطقه مطالعاتی را تشکیل می دهند. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص است که درصد ناپایداری منطقه بیشتر از مناطق پایدار می باشد .این امر حاکی از مستعد بودن دامنه های منطقه از لحاظ ناپایداری تحت شرایط طبیعی می باشند.

جدول ۶: نتایج آماری حاصل از پهنه بندی با مدل sinmap

منطقه	پایدار	پایداری متوسط	شبه پایدار	حد پایین ناپایداری	حد بالای ناپایداری	حفاظتی	مجموع
مساحت	۶۴/۳	۲۲/۴	۳۲/۲	۹۰/۲	۵۷/۵	۹۵	۳۶۲/۶
درصد منطقه	۱۷/۷	۶/۲	۹/۲	۲۴/۹	۱۵/۹	۲۶/۲	۱۰۰
تعداد لغزش	۱۸	۴	۷	۳۰	۱۹	۲۵	۱۰۳
درصد لغزش	۱۷/۵	۳/۹	۶/۸	۲۹/۱	۱۸/۴	۲۴/۳	۱۰۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل۶: نقشه پهنه بندی لغزش منطقه جوانرود

نتیجه گیری

به علت پیچیدگی‌های مرتبط با مکانیسم وقوع لغزش و به دست آوردن نتایج دقیق سعی شد که برای بررسی این نوع لغزش‌ها که عمدتاً از نوع لغزش‌های سطحی می‌باشند، با توجه به بررسی کارهای تحقیقاتی گلید(۲۰۰۰) ، بورگا(۲۰۰۲) ، تروخ(۲۰۰۳)، کلاسنس(۲۰۰۷)، بیوم(۲۰۱۱)، ویتا(۲۰۱۳) بررسی پایداری دامنه های مطالعاتی بر اساس مدل های فیزیک پایه و تئوری پایداری شیب بی نهایت صورت گیرد نتایج تحقیقی آنان بیشتر در ارتباط با بررسی تأثیر تغییرات سطح آب زیرزمینی و کاربرد شاخص‌های متفاوت اشباع‌شدگی در دامنه ها همراه با مدل‌سازی و روش‌های آنالیز شیب نامحدود در دامنه ها به صورت منفرد و بدون تهیه نقشه پهنه بندی در سطح حوضه مطالعاتی می‌باشد. بنابر این در پژوهش با توجه به هدف تحقیق جهت تحلیل پایداری دامنه های کل منطقه در سطح حوضه و تهیه نقشه پهنه بندی لغزش های منطقه مطالعاتی سعی شد با توجه به تحقیقات کلایمس(۲۰۰۸)، ناکا و همکاران(۲۰۰۶)، میشل و همکاران(۲۰۱۴)، طالبی و همکاران(۱۳۸۹) به تحلیل پایداری دامنه و بررسی عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه با استفاده از مدل‌های فیزیک پایه sinmapپرداخته شود. در این مدل با توجه به بررسی و تعیین پارامترهای ژئومکانیکی، توپوگرافی و هیدرولوژی دامنه های مطالعاتی در سطح منطقه جوانرود می توان به تحلیل ضریب پایداری و تعیین کلاس های آسیب پذیری در کل منطقه مطالعاتی پرداخت. با توجه به نتایج بدست آمده برای دامنه های مطالعاتی و تحلیل نقشه پهنه بندی حاصل از مدل sinmap می‌توان گفت که در منطقه‌ی جوانرود درصد پایداری منطقه نسبت به ناپایداری کمتر می باشد. به طوری که بیشترین درصد از منطقه در منطقه حفاظتی(۲۶ درصد) و آستانه بالای ناپایداری(۱۵/۹ درصد) قرار دارد و درصد کمتری از منطقه در حد پایداری و شبه پایدار(۲۰ درصد) قرار دارد. این امر حاکی از مستعد بودن دامنه های منطقه مطالعاتی از لحاظ ناپایداری ذاتی می باشد. به طوری که عوامل

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

طبیعی نظیر پروفیل طولی مقعر و شیب بالا، زاویه‌ی اصطکاک پایین و ضریب اشباع بالا و در نهایت چسپندگی پایین خاک دامنه های مطالعاتی به علت درشت‌دانه بودن بافت خاک این دامنه ها که عمدتا از نوع رگولیت حاصل از تجزیه سنگ های شیلی و مارنی سازندهای گورپی و رادیولاریت می باشند ، در این مناطق قطعا باعث بروز پدیده ی زمین لغزش خواهند شد. این دامنه‌ها در صورتی که تحت تأثیر فعالیت های انسانی همانند تسطیح دامنه‌ای برای ساخت‌وساز مسکونی یا برش جاده‌ای قرار بگیرند، ناپایدار خواهند شد. بنابراین لازم است که در بحث ساخت و ساز و احداث پروژه های عمرانی اقدامات حفاظتی لازم در این مناطق اعمال شود

منابع

احمدی، حسن؛ علی طالبی . ۱۳۸۰ .بررسی عوامل موثر در ایجاد حرکات توده ای(لغزش) ، مطالعه موردی:(منطقه اردل استان چهارمحال و بختیاری) ، *مجله منابع طبیعی ایران* **۵۴**: ۳۲۸-۳۲۳.

بحری، معصومه؛ مهسا پناهی ، علی طالبی. ۱۳۹۱. پیش بینی دامنه های ناپایدار با استفاده از مدل فرآیند محور sinmap ، *هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری*، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

تاجبخش، محمد؛ هادی معمار یان ، مجید آسیایی، تحلیل پایداری شیب با استفاده از مدل فرآیندیSinmap (مطالعه موردی: پهنه لغزشی هاونان، بیرجند)، *جغرافیا و مخاطرات محیطی* ،**۱۲**: ۳۴-۱۹

طالبی، علی؛ مریم ایزددوست .۱۳۸۹. بررسی کارایی مدلsinmap در پهنه بندی خطر زمین لغزش(مطالعه موردی حوضه آبخیز سد ایلام)،*علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، **۱۵**: ۶۸-۶۳.

Baum, R.L.; J.W. Godt.; J.A.Coe. ۲۰۱۱. Assessing susceptibility and timing of shallow landslide and debris flow initiation in the Oregon Coast Range, USA. Proceedings of the ۹th International Conference on Debris Flow Hazards Mitigation, Mechanics, Prediction and Assessment, ۱٤–۱۷ June ۲۰۱۱, Padua, Italy.

Borga, M.; GD.Fontana; C. Gregoretti; L.Marchi.۲۰۰۲. Assessment of shallow landsliding by using a physically based model of hillslope stability. Hydrological Processes, ۱٦: ۲۸۳۳–۲۸۵۱. DOI ۱۰,۱۰۰۲/hyp.۱۰۷٤

Claessens, L.; A. Knapen.۲۰۰۷. Modelling landslide hazard, soil redistribution and sediment yield of landslides on the Ugandan foot slopes of Mount Elgon.Geomorphology, ۹۰:۲۳–۳۵. Doi ۱۰,۱۰۱٦ ۱۰,۱۰۱٦/j.geomorph.۲۰۰۷,۰۱,۰۰۷

Cha, A. ۲۰۱٤. A Comparison on the Identification of Landslide Hazard using Geomorphological Characteristics, Journal of the Korean GeoEnvironmental Society, ۱۵: ٦۷-۷۳. DOI ۱۰.۱٤٤۸۱. /jkges .۲۰۱٤,۱۵

Legorreta Paulina G.; M. Bursik; J. Lugo-Hubp; J.J. Zamorano Orozco, ۲۰۱۰. Effect of pixel size on cartographic representation of shallow and deep-seated landslide, and its collateral effects on the forecasting of landslides by SINMAP and Multiple Logistic Regression landslide models. Physics and Chemistry of the Earth, **۳۵**: ۱۳۷-۱٤۸.Doi ۱۰,۱۰۱٦/j.pce.۲۰۱۰,۰٤,۰۰۸

Kayastha, P. ۲۰۰٦. Slope stability analysis using GIS on a regional scale. Master thesis in Physical Land Resources, Vrije Universiteit Brussel.

Klimes, J. ۲۰۰۸. Analysis of preparatory factors of landslide vsetinske vrchy highland, Czech republice. Acta Research Reports, ۱۷:٤۷–۵۳.

Faria, A; C. Bateira; S.Laura ; J. Fernandes; J.Gonçalves; F.Marques. ۲۰۱٦. Landslide Susceptibility Evaluation on agricultural terraces of Douro Valley (Portugal), using physically based mathematical models.European Geosciences Union (EGU)General Assembly, ۱۷-۲۲ April, Vienna Austria.

Glade, T.; MG Anderson, MJ Crozier.۲۰۰۰. Landslide risk assessment.JohnWileyPublishers,NewYork.

Hennrich, K.; M.J Crozier.۲۰۰٤.A hillslope hydrology approach for catchment-scale slope stability analysis. Earth Surface Process. Landforms **۲۹**: ۵۹۹-٦۱۰ .DOI ۱۰,۱۰۰۲/esp.۱۰۵٤

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

Naqa, A.E.; M Abdelghafoor. ٢٠٠٦. Application of SINMAP Terrain StabilityModel along Amman-Jerash-Irbid Highway, North Jordan, ejge paper. Computer Vision, Graphics and Image Processing, ٢٨: ٣٢٨-٣٤٤.

Michel, G.P.; M.Kobiyama; R.F. Goerl.٢٠١٤. Comparative analysis of Shalstab and Sinmap for landslide susceptibility mapping in the Cunha River basin, southern Brazil. Soils Sediments ١٤: ١٢٦٦–١٢٧٧.Doi ١٠,١٠٠٧/s١١٣٦٨-٠١٤-٠٨٨٦-٤

Montgomery, DR.; WE.Dietrich. ١٩٩٤. A physically based model for the topographic control on shallow landslide. Water Resource Research, ٣٠: ٨٣–٩٢. DOI ١٠,١٠٢٩/٩٣WR٠٢٩٧٩

Pack, R. T.; D. G. Tarboton. ; C. N. Goodwin. ١٩٩٨ .The SINMAP approach to terrain stability mapping. ٨th Congress of the International Association of Engineering Geology, ٢١-٢٥ September, Vancouver, British Columbia, Canada.

Talebi, A.; P. A.Troch.; R.Uijlenhoet. ٢٠٠٨a. A steady-state analytical hillslope stability model for complex hillslopes. Hydrology Process, ٢٢: ٥٤٦-٥٥٣. DOI ١٠,١٠٠٢/hyp.٦٨٨١

Troch, P.A.; C.Paniconi; E.E.Van Loon. ٢٠٠٣. Hillslope-storage Boussinesq Model for subsurface flow and variable source areas along Complex Hillslopes, Formulation and characteristic response. Water resources research, ٣٩: ١٣١٦. Doi ١٠,١٠٢٩/٢٠٠٢WR٠٠١٧٢٨

Terhorst, B.; R. Kreja. ٢٠٠٩. Slope stability modelling with SINMAP in a settlement area of the Swabian Alb. Landslides, ٦: ٣٠٩-٣١٩. Doi ١٠,١٠٠٧/s١٠٣٤٦-٠٠٩-٠١٦٧-٢

Vita, P. De.; I J.Napolitano, Godt I R. Baum. ٢٠١٣. Deterministic estimation of hydrological Thresholds for shallow landslide initiation and slope stability models: case study from the Somma-Vesuvius area of southern Italy, Landslides ١٠:٧١٣–٧٢٨.Doi ١٠,١٠٠٧/s١٠٣٤٦-٠١٢-٠٣٤٨-٠٣٤٨-٢

Vinh, B.L. ٢٠٠٧. Regional slope instability zonation using different GIS techniques, Master thesis in Physical Land Resources, Vrije Universiteit Brussel

Wawer, R.; E. Nowocien.٢٠٠٣. Application of SINMAP terrain stability model to Grodarz stream watershed. Journal of Polish Agricultural Universities Environmental Development ٦(١)

Yang Hi-hua, Z.; H.**x**. Lan.; Ho. LIU.; LI. Lang - ping.;WU. Yuming ٢٠١٥. Post-earthquake rainfall-triggered slope stability analysis in the Lushan area, Journal of Mountain Science, ١٢: ٢٣٢–٢٤٢. Doi ١٠,١٠٠٧/s١١٦٢٩-٠١٣-٢٨٣٩-٦

Yilmaz, I.; K .Inan .٢٠٠٩.GIS based statistical and physical approaches to land Slide susceptibility mapping (Sebinkarahisar, Turkey), Bulletin of Engineering Geology and the Environment, ٦٨: ٤٥٩–٤٧١. Doi ١٠,١٠٠٧/s١٠٠٦٤-٠٠٩-٠١٨٨-z

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]